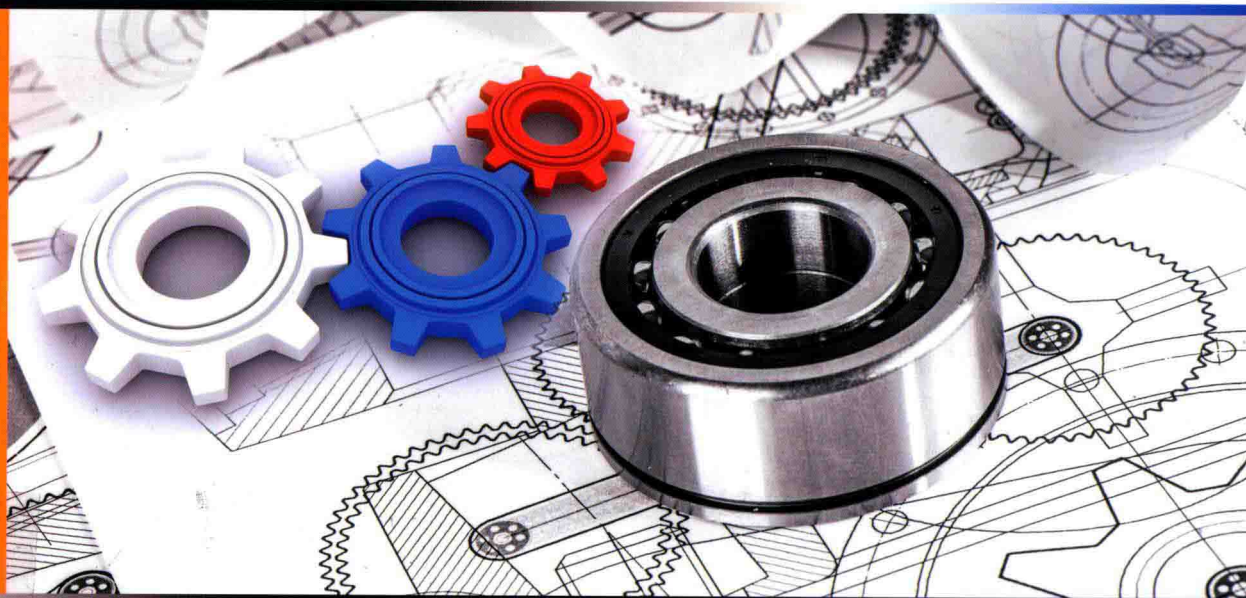


机电专业“十三五”规划教材

机械设计基础

主编◎蒋永敏 李秋芳

主审◎王海峰



兵器工业出版社

机电专业“十三五”规划教材

机械设计基础

主 编 蒋永敏 李秋芳
副 主 编 康予培 徐雁波
参 编 翟爱霞 刘 英
主 审 王海峰

兵器工业出版社

内容简介

本书是根据教育部有关机械设计基础课程的教学基本要求以及新发布的有关国家标准修订而成的。本书内容分为常用机构、机械传动、机械连接、轴及轴承四个项目。本书在各个章节中都有许多经典的机械设计计算、分析和作图等的能力训练实例,以及典型零件工作图,并且摘录了部分机械设计常用的标准和规范。书后还附有常用滚动轴承参数表。

本书可以作为应用型本科、职业院校机械设计与制造类和机电工程类专业课程的教材,也可供从事相关专业的读者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 蒋永敏, 李秋芳主编. — 北京: 兵器工业出版社, 2017.1

ISBN 978-7-5181-0295-2

I. ①机… II. ①蒋… ②李… III. ①机械设计
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 014742 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市悦鑫印务有限公司

版 次: 2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1 - 3000

责任编辑: 周琦

封面设计: 赵俊红

责任校对: 郭 芳

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.5

字 数: 420 千字

定 价: 39.80 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前言

随着工业化程度的不断深入,对从事工业生产与维护的技术人员提出了相应的要求,从而推动了大中专教育教学的全面改革。“机械设计基础”作为一门重要的专业技术基础课,该教什么、怎么教、教到什么程度才能最好地与现代工业生产接轨,这是作为讲授这门课程的教育工作者一直在思考与探索的问题。

结合我国教育教学的目标及要求,吸收了近年来走在教育改革前列的各大院校的教学改革方法和成果,通过总结多年的教学经验,同时考虑到对学生的创新知识和能力的培养,我们组织编写了在形式和内容上都有较大改革和改进的这本《机械设计基础》。与其他教材相比,其特点主要有以下几个方面:

(1) 本书在教学过程的安排上采用了给出教学提示→制定教学目标→提出教学要求→指出教学重点、教学难点→设计教学过程这样一条主线,使教师和学生在上课时,每节课都能清楚本节课学什么、怎么学、学到什么程度,真正做到有的放矢。

(2) 从整体上看,内容在呈现上采用机械概述→机构→机械传动→联接→支承零部件的顺序,力争在有限的学时内做到知识的连贯性和渐进性。

(3) 本编在教学内容的布置上采用了任务导入→理论教学→技能知识→知识扩展这样一个教学次序,使各部分内容都由任务引领,并根据本课程理论性和实践性都较强的性质和特色,做到使理论和技能并重。由于学时的限制,有些内容在课堂上无法完成,但考虑到对学生的自学能力和创新能力的培养,所以采用知识扩展的方式补充到教材中,以满足学生的可持续发展的需要。

(4) 本书对所涉及的内容尽量采用图文并茂,并竭力做到贴近生产和生活。一方面提高了学生学习的趣味性,另一方面也突显了本课程的特色。

本书由甘肃畜牧工程职业技术学院的蒋永敏和北京经济管理职业学院的李秋芳担任主编,郑州市商业技师学院的康予培和商丘工学院的徐雁波担任副主编,甘肃畜牧工程职业技术学院的翟爱霞、刘英参与了本书的编写工作。其中,蒋永敏编写了项目二,李秋芳编写了项目一,康予培编写了绪论和项目四中的任务一,徐雁波编写了项目三中的任务一和任务二,翟爱霞编写了项目三中的任务三和附录,刘英编写了项目四中的任务二和任务三。本书由王海峰担任主审,由蒋永敏编写了大纲并统稿。本书的相关资料和售后服务可扫本书封底的微信二维码或与 QQ(2436472462) 联系获得。

由于时间仓促及编者水平有限,本书难免存在不妥之处,敬请各位老师、专家和读者批评指正。

编者

2017年1月

目 录

绪 论	I
一、本课程的研究对象	1
二、本课程在教学中的地位 and 作用	3
三、机械零件的失效形式	3
四、机械设计的基本要求及程序	3
习 题	4
项目一 常用机构	5
任务一 平面连杆机构	6
一、运动副	6
二、平面机构运动简图	7
三、平面机构的自由度	9
四、机构具有确定运动的条件	10
五、平面连杆机构简介	13
六、铰链四杆机构的工作特性	17
七、铰链四杆机构的演化	21
习 题	30
任务二 凸轮机构	31
一、凸轮机构的组成与特点	32
二、凸轮机构的分类	32
习 题	38
任务三 间歇运动机构	38
一、棘轮机构	39
二、槽轮机构	41
习 题	43
项目二 机械传动	44
任务一 带 传 动	45
一、带及带传动的主要类型、特点和应用	45
二、V 带及带轮	46
三、V 带传动的设计	50
习 题	64



任务二 链传动	65
一、链传动的类型和特点	65
二、滚子链	66
三、滚子链的传动计算简介	70
四、链传动的设计计算	71
习 题	76
任务三 齿轮传动	76
一、齿轮传动简介	76
二、渐开线直齿圆柱齿轮各部分的名称、主要参数和几何尺寸	78
三、渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	83
四、标准渐开线斜齿圆柱齿轮	106
五、直齿锥齿轮传动	120
习 题	133
任务四 蜗轮蜗杆传动	134
一、蜗杆传动的特点、应用和类型	135
二、普通圆柱蜗杆传动的主要参数	137
三、普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸	141
习 题	152
任务五 轮 系	152
一、轮系的分类	153
二、定轴轮系传动比计算	155
三、周转轮系的传动比计算	161
四、复合轮系的传动比计算	164
习 题	171
项目三 联 接	175
任务一 键联接、花键联接及销联接	175
一、键联接	176
二、花键联接	180
三、销联接	180
习 题	181
一、判断题	181
二、选择题	181
三、填空题	182
四、计算题	183
任务二 螺纹联接	183
一、螺纹的形成原理和其主要参数	183
二、常用螺纹的类型和特点	185
三、螺纹联接的基本类型与标准螺纹联接件	186

四、螺纹联接的预紧和防松	190
五、螺栓联接的强度计算	191
习 题	197
任务三 联轴器、离合器和制动器	197
一、联轴器的功用及分类	197
二、常用联轴器	198
三、联轴器的选用	203
四、离合器的功用和分类	204
五、常用离合器	205
六、制动器	209
习 题	211
项目四 轴与轴承	212
任务一 轴	212
一、轴的类型	213
二、轴的材料	214
三、轴的结构设计	215
习 题	232
任务二 滚动轴承	233
一、滚动轴承的结构	233
二、滚动轴承的类型	234
三、滚动轴承的代号	237
习 题	253
任务三 滑动轴承	253
一、滑动轴承的摩擦状态	253
二、滑动轴承的结构形式	255
三、轴瓦和轴承衬	260
习 题	267
附 录 常用滚动轴承参数	268
深沟球轴承 (摘自 GB/T276—93)	268
圆锥滚子轴承 (摘自 GB/T297—93)	269
单向推力球轴承 (摘自 GB/T301—92)	270
参考文献	272

绪 论

一、本课程的研究对象

“机械设计基础”是工科类专业的一门重要的技术基础课，研究对象为机械。机械是人造的用来减轻或替代人类劳动的多个实物的组合体。任何机械都经历了由简单到复杂的发展过程。

人类为了满足生产和生活的需要，设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料或信息。例如图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机，由汽缸体、活塞、进气门、排气门、连杆、曲轴、凸轮轴、推杆、和正时齿轮组成。工作时，燃料在燃烧室内燃烧产生高压燃气，推动活塞做往复直线移动，并由连杆传给曲轴，再由曲柄将活塞的往复直线移动转化为曲轴的旋转运动，从而向外输出机械功。又如金属切削机床是由电动机通过传动带驱动主轴箱（变速器）使主轴回转，从而达到切削的目的。从以上两个实例不难发现，各种机器都具有相同的基本特征：①人为的实物组合体；②各部分之间具有确定的相对运动；③能为减轻或代替人类劳动而做有用的机械功（如洗衣机、起重机、各种食品机械等）或实现能量的转换（电动机、内燃机等）。

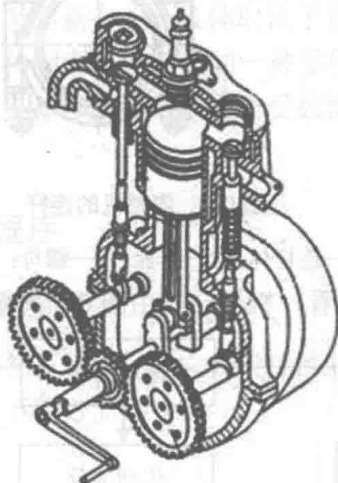


图 0-1 内燃机

若从运动的观点来研究机器，机器则是由若干机构组成。机构是能够用来传递运动和力或改变运动形式的多个实物的组合体。如：曲柄连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。一部机器可以包含一个机构（如电动机），也可以由若干个机构按一定规律组合而成。如图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机包含由曲轴、连杆、活塞组成的曲柄滑块机构；包含由从动杆、凸轮组成的凸轮机构；包含由齿轮组成的齿轮机构等。可见，机构的共同特征为：①人为的实物组合体；②各部分有确定的相对运动。

由机器与机构的特征可知，机器与机构的根本区别在于机器能够做有用的机械功或实

了 现能量的转换，而机构却不能。但两者在结构和运动方面并无区别（仅作用不同），故将机器与机构统称为机械。

若从结构来看，机器都是由许多机械零件组合而成。机械零件可分为两大类：一类是在各种机器中经常都能用到的零件，称为通用零件，如齿轮、链轮、蜗轮、螺栓、螺母等，另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件，称为专用零件，如内燃机的曲轴、汽轮机叶片等。根据机器功能、结构要求，某些零件需要固联成没有相对运动的刚性组合，成为机器中独立运动的单元，通常称为构件。构件与零件的区别在于：构件是运动的基本单元，而零件是加工制造单元。一个构件可能就是一个零件，如内燃机的曲轴（整体式），也可能是多个零件的组合物，如图 0-2 所示的内燃机的连杆，由连杆杆身、连杆螺栓、连杆螺母及连杆端盖 4 个零件组成，形成一个整体运动的构件。

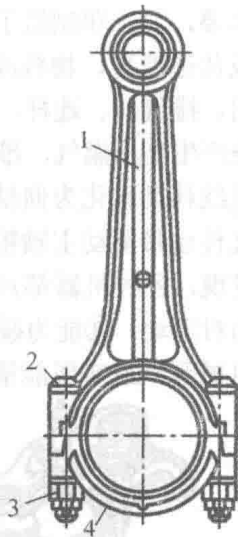


图 0-2 内燃机的连杆

1—连杆体；2—螺栓；3—螺母；4—连杆盖

若从机器各部分的作用来看，机器一般由图 0-3 所示的五部分组成。

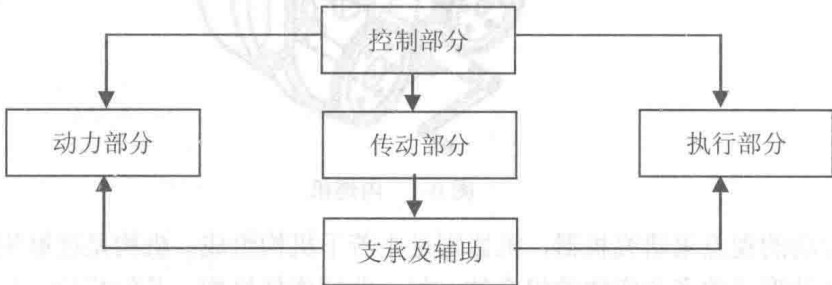


图 0-3 机器的组成

动力部分是机器的动力源，最常用的是电动机和内燃机；传动部分是机器中传递运动和动力的装置；执行部分是机器中直接完成工作任务的部分；控制部分包括机械控制装置、电力控制装置、气压或液压控制装置及计算机控制装置等；支承及辅助部分主要是指机器的机箱、润滑装置及照明系统等。



本课程主要介绍机械中的通用零件和常用机构的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。项目一是机械原理部分,着重研究机械中常用机构的类型、特点、工作原理和相关的计算方法等。项目二~项目四是机械零件部分,着重研究机械传动、常用联接和轴系零部件。这些通用零件和常用机构的知识也将对专用机构和专用零件的研究有重要的指导意义。

二、本课程在教学中的地位 and 作用

本课程是各工科专业必修的一门很重要的技术基础课,是机械制图、汽车材料、理论力学、材料力学、金属工艺学及金工实习等理论知识和实践技能的综合运用。本课程通过课堂授课、课后作业、实验操作、课程设计及答辩等教学环节,使学生具有机械设计的基本知识和设计一般机械零部件的能力。同时,通过学习,可使学生掌握常用机构和通用零件的工作原理及结构特点,使学生具有设计机械传动装置和简单机械的能力;可为今后学习打下基础;可以培养学生查阅相关手册和资料、设计简单机械装备的能力,为今后操作、维护、管理、革新机械装备创造条件。

三、机械零件的失效形式

机械零件在预定的时间内和规定的条件下,不能完成正常的功能,称为失效。机械零件的失效形式主要有断裂、过大的残余应变、表面磨损、腐蚀、零件表面的接触疲劳和共振等。机械零件的失效形式与许多因素有关,具体取决于该零件的工作条件、材质、受载状态及其所产生的应力性质等多种因素。即使是同一种零件,由于材质及工作情况不同,也可能出现各种不同的失效形式。如轴工作时,由于受载情况不同,可能出现断裂、过大塑性变形、磨损等失效形式。

四、机械设计的基本要求及程序

(一) 机械设计的基本要求

虽然不同机械其功能和外形都不相同,但它们设计的基本要求大体是相同的。归纳起来,机械应满足的基本要求有以下四方面。

1. 功能要求

满足机器预定的工作要求,如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率,以及某些使用上的特殊要求(如高温、防潮等)。

2. 安全可靠性要求

(1) 使整个技术系统和零件在规定的载荷和规定的工作时间内,能正常工作而不发生断裂、过度变形、过度磨损,不丧失稳定性。

(2) 能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康。

(3) 对于技术系统的周围环境和人不造成危害和污染,同时要保证机器对环境的适应性。



3. 经济性要求

在产品整个设计周期中,必须把产品设计、销售及制造三方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,以降低产品的成本。此外,在设计机械系统和零部件时,应尽可能满足标准化、通用化、系列化要求,以提高设计质量,降低制造成本。

4. 其他要求

要求所设计的机械系统外形要美观,便于操作和维修。此外还必须考虑有些机械由于工作环境和工作要求不同,而对设计提出某些特殊要求,如食品卫生条件、耐腐蚀、高精度要求等。

(二) 机械设计的一般过程

机械设计的一般过程如图 0-4 所示。

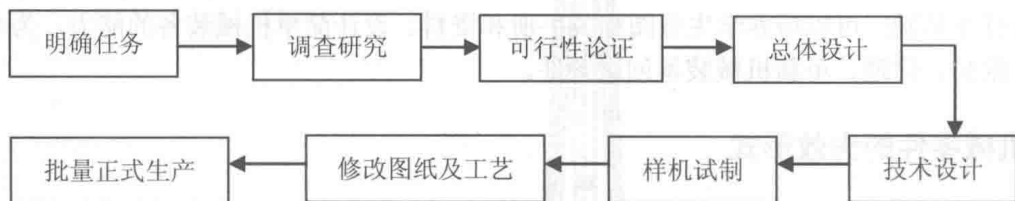


图 0-4 机械设计的一般过程

习 题

1. 试述机械、机器、机构、零件、构件的概念及它们的联系和区别。
2. 试述机械零件失效的含义、失效主要形式及机械零件设计要求。
3. 试举出具有下述功能的机器(各两个实例):
 - (1) 传递机械能的机器;
 - (2) 能将机械能变换成其他形式能量的机器;
 - (3) 实现物料传递的机器;
 - (4) 变换或传递信息的机器。
4. 在汽车上各指出 3 种通用零件和专用零件。
5. 在汽车上指出哪些是机构? 哪些是构件? 哪些既是零件又是构件?

项目一 常用机构

【教学提示】

常用机构的基本功用是传递运动、动力及变换运动形式。例如，将回转运动变换为往复直线运动，将匀速转动变换为非匀速转动或间歇性运动等。本项目将介绍平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构的基本形式与应用特点等。平面四杆机构是平面机构的基础，按其构件的运动形式不同，可分为铰链四杆机构和滑块四杆机构两大类，前者是平面四杆机构的基本形式，后者是由前者衍生而成的，所以是本项目学习的重点所在。通过本章的学习能够具备常用机构的基本知识。

【教学要求】

通过本项目的学习，使学生了解常见机构的类型、特点、组成和结构；掌握各种机构的工作原理和工作特性；了解几种机械机构的联系和区别以及它们在汽车上的应用情况。

【教学目标】

- 了解平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构的特点、基本类型、工作原理及用途；
- 理解运动副的概念；
- 掌握机构运动简图的画法及机构自由度的计算；
- 掌握铰链四杆机构中曲柄存在的条件、机构类型的判别方法及其演化方法。

【教学重点】

- 平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构的特点及基本类型；
- 机构运动简图的画法及机构自由度的计算；
- 铰链四杆机构类型的判别与曲柄摇杆机构的三大特性。

【教学难点】

- 平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构的工作原理；
- 机构运动简图的画法及机构自由度的计算；
- 曲柄摇杆机构的三大特性。

【教学过程】

各种机构的概念→各种机构的特点、类型→各种机构的工作原理→各种传动的参数、尺寸计算→各传动的设计方法。



任务一 平面连杆机构

【任务导入】

汽车上的哪些机构是平面机构？各是哪一种平面机构？它们各起什么作用？

【理论知识】

一、运动副

机构都是由若干个构件通过一定的方式联接起来而形成的。两构件直接接触所组成的具有某些相对运动的联接称为运动副，例如轴与轴承之间的联接，活塞与汽缸之间的联接，凸轮与推杆之间的联接，两齿轮的齿和齿之间的联接等。

在平面运动副中，由于两构件间的接触形式不同，运动副又分为低副和高副。

（一）低副

两构件通过面接触所构成的运动副称为低副。根据它们之间的相对运动是移动或转动，又可分为转动副和移动副。

（1）移动副。若组成运动副的两构件之间只能沿某一轴线方向做相对移动，则该运动副称为移动副，如图 1-1a 所示。汽车内燃机中气缸与活塞之间的联接就属于移动副。

（2）转动副。若组成运动副的两构件之间只能绕同一轴线做相对转动，则该运动副称为转动副，也称铰链副。图 1-1b 所示为轴与轴承联接所构成的转动副。

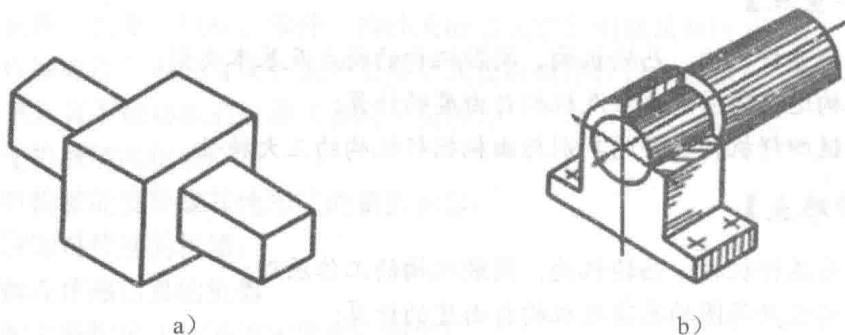


图 1-1 低副

a) 移动副；b) 转动副

（二）高副

两构件之间以点或线相接触所组成的运动副称为高副。如图 1-2a 所示，两齿轮轮齿相啮合处构成高副，即齿轮副。如图 1-2b 所示，凸轮 1 与尖顶推杆 2 构成高副，即凸轮副。因低副是通过面接触而构成的运动副，故其接触处的面积大、压强小、承载能力高、耐磨性好、寿命长，且因其形状简单，容易制造。组成低副的两构件之间只能做相对滑动；而

组成高副的两构件之间则可做相对滑动或滚动，或两者并存。

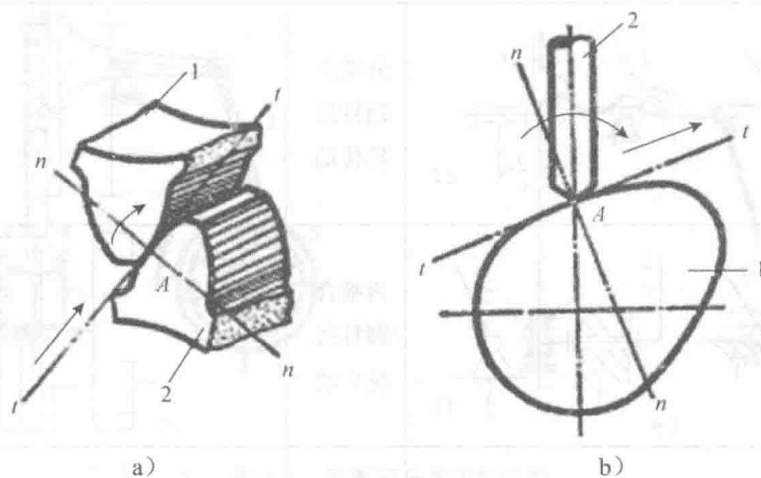


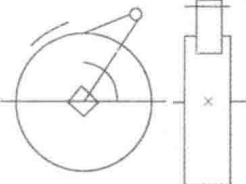
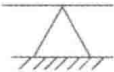
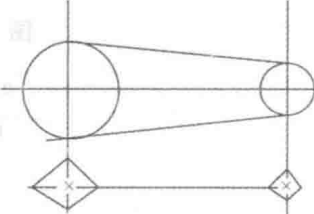
图 1-2 高副

a) 齿轮副；b) 凸轮副
1—凸轮；2—尖顶推杆

二、平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂，在研究机构运动时，为了突出与运动有关的因素，将那些与运动无关的因素去除掉，保留有关的外形，用规定的符号来代表构件和运动副，并按一定的比例表示各种运动副的相对位置。这种表示机构各构件之间相对运动的简化图形，称为机构运动简图。部分常用机构运动简图符号如表 1-1 所示，其他常用零部件的表示方法可参看 GB4460—84 “机构运动简图符号”。

表 1-1 部分常用机构运动简图符号（GB4460—84）

名称	符号	名称	符号
轴、杆、 连杆等构件	 a)	棘轮机构	 i)
轴、杆 的固定支 座(机架)	 b)		
一个构 件上有两 个转动副	 c)	链传动	 j)
一个构 件上有 3 个转动副	 d)		

续表

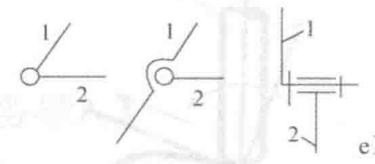
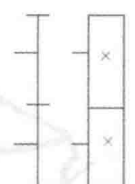
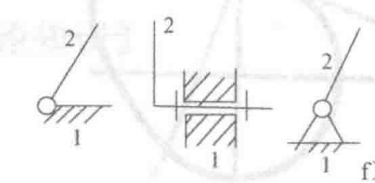
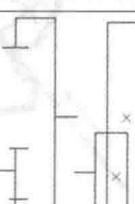
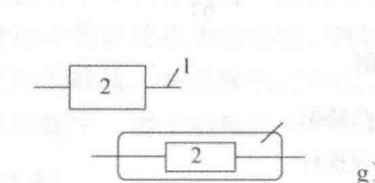
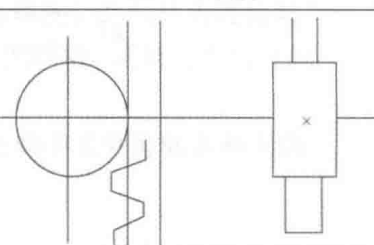
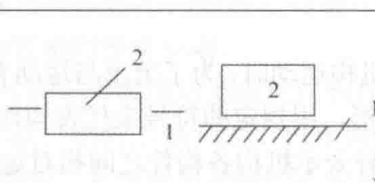
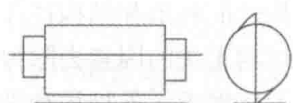
两个运动构件用转动副连接		外啮合圆柱齿轮传动		k)
一个运动构件与一个固定构件用转动副连接		内啮合圆柱齿轮传动		l)
两个运动构件用移动副连接		齿轮齿条传动		m)
一个运动构件与一个固定构件用移动副连接		在支架上的电机		n)

图 1-3a 所示内燃机曲柄滑块机构、图 1-4a 所示的活塞泵机构可用图 1-3b、图 1-4b 所示的机构运动简图表示。

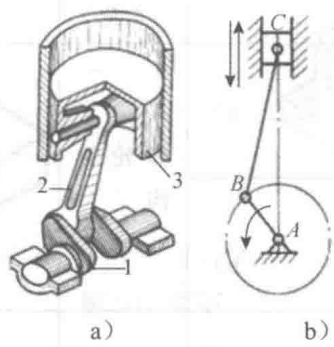


图 1-3 内燃机中的曲柄滑块机构

a) 机构示意图; b) 机构简图

1—曲轴; 2—连杆; 3—活塞

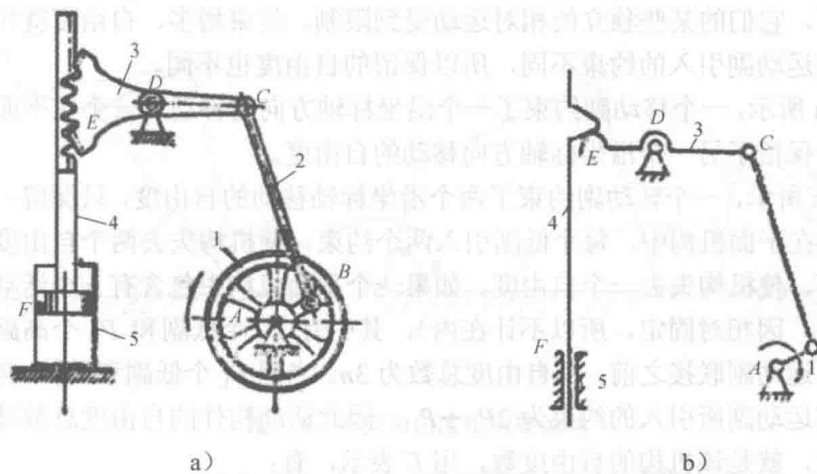


图 1-4 活塞泵及其机构简图

a) 机构示意图；b) 机构简图

三、平面机构的自由度

机构是由若干个构件通过运动副联接在一起所组成的。要使机构完成预定的运动形式，机构中的各构件之间就必须具有确定的相对运动。然而，把构件任意拼凑起来不一定能运动；即使能够运动，也不一定。那么构件应如何组合才能运动？在什么条件下才具有确定的相对运动？这对分析现有机构或创新机构很重要。

所有构件的运动平面都相互平行的机构称为平面机构，否则称为空间机构。一个机构是否具有确定的相对运动取决于该机构自由度的数目。因为在生活和生产中，平面机构应用最多，所以本章仅讨论平面机构的自由度。

自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有 6 个自由度。它可表示为在直角坐标系内沿着 3 个坐标轴的移动和绕 3 个坐标轴的转动。而对于一个做平面运动的构件，则只有 3 个自由度，如图 1-5 所示。即沿 x 轴和 y 轴移动，以及在 xOy 平面内的转动。

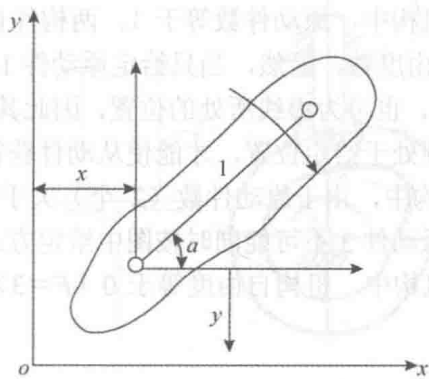


图 1-5 机构的自由度

平面机构的每个活动构件，在未用运动副联接之前，都有 3 个自由度。当两个构件组

成运动副之后, 它们的某些独立的相对运动受到限制。约束增多, 自由度就相应减少。由于不同种类的运动副引入的约束不同, 所以保留的自由度也不同。

如图 1-1a 所示, 一个移动副约束了一个沿坐标轴方向的移动和一个在平面内的转动两个自由度, 只保留了另一个沿坐标轴方向移动的自由度。

如图 1-1b 所示, 一个转动副约束了两个沿坐标轴移动的自由度, 只保留一个转动的自由度。所以, 在平面机构中, 每个低副引入两个约束, 使机构失去两个自由度; 每个高副引入一个约束, 使机构失去一个自由度。如果一个平面机构中包含有 n 个活动构件 (机架为参考坐标系, 因相对固定, 所以不计在内), 其中有 P_L 个低副和 P_H 个高副。则这些活动构件在未用运动副联接之前, 其自由度总数为 $3n$ 。当用 P_L 个低副和 P_H 个高副联接成机构之后, 全部运动副所引入的约束为 $2P_L + P_H$ 。因此活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数, 就是该机构的自由度数, 用 F 表示, 有:

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

式 (1-1) 就是平面机构自由度的计算公式。由式 (1-1) 可知, 机构自由度 F 取决于活动构件的数目以及运动副的性质和数目。机构的自由度必须大于零, 机构才能够运动, 否则即成为桁架。

【例 1-1】 计算图 1-4b 所示的活塞泵的自由度。

【解】 除机架外, 活塞泵有四个活动构件, $n=4$; 4 个回转副和一个移动副共 5 个低副, $P_L=5$; 一个高副, $P_H=1$ 。

由式 (1-1) 得:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 \times 1 = 1$$

该机构的自由度为 1。

四、机构具有确定运动的条件

机构的自由度也即是机构所具有的独立运动的个数。从动件是不能独立运动的, 只有原动件才能独立运动。通常每个原动件只具有一个独立运动。因此, 机构自由度必定与原动件的数目相等。

如图 1-6a 所示的五杆机构中, 原动件数等于 1, 两构件自由度 $F=3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ 。由于原动件数小于机构的自由度数, 显然, 当只给定原动件 1 的位置角 φ_1 时, 从动件 2、3、4 既可为实线所处的位置, 也可为虚线所处的位置, 因此其运动是不确定的。只有给出两个原动件, 使构件 1、4 都处于给定位置, 才能使从动件获得确定运动。

如图 1-6b 所示四杆机构中, 由于原动件数 (2 个) 大于机构自由度数 ($F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$), 因此原动件 1 和原动件 3 不可能同时按图中给定方式运动。

如图 1-6c 所示的五杆机构中, 机构自由度等于 0 ($F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$), 它的各杆件之间不可能产生相对运动。